Инновационные вычисления и блокчейн-технологии в сельском хозяйстве для ускорения экономической интеграции между Российской Федерацией, Китаем и Белоруссией

Получено 10.09.2024 Доработано 12.11.2024 Принято 19.11.2024

УДК 338.439 JEL E48 DOI https://doi.org/10.26425/2658-3445-2024-7-4-15-26

Михайлов Алексей Юрьевич

Канд. экон. наук, вед. науч. сотр.
Институт Китая и современной Азии Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация
ORCID: 0000-0003-2478-0307
E-mail: alexeyfa@ya.ru

АННОТАЦИЯ

Представлены инновационные вычисления и блокчейн-технологии в Российской Федерации, Китае и Белоруссии. Облачные вычисления относятся к технологиям распределенных вычислений, которые используют алгоритмы сетевого доступа к общим вычислительным ресурсам. Использование облачного сервиса для интеллектуального ведения сельского хозяйства является многообещающей технологией, поскольку может обеспечить огромные вычислительную мощность и емкость хранилища, высокую масштабируемость и гибкость. Облачная инфраструктура включает компьютерные сети, серверы, хранилища данных и операционные системы. Поставщики облачных услуг обычно предоставляют свои услуги, используя одну из следующих информационных технологий: SaaS («Программное обеспечение как услуга»), PaaS (Платформа как услуга), IaaS (Инфраструктура как услуга). С SaaS все необходимое программное обеспечение расположено на облачных серверах и сдается в аренду. Существуют такие сервисы, как хранилища данных, файлов и записей, веб-сервисы электронной почты и различные инструменты, связанные с управлением проектами, которые могут быть настроены в зависимости от сельскохозяйственной компании. С PaaS клиентам предоставляется среда для разработки их собственных приложений, включая операционные системы, базы данных и средства обработки данных, а также возможности и ресурсы для хранения данных, установки операционных систем. Основная цель IaaS – устранить зависимость от платформ и ресурсоемкой установки, предоставив их как часть облачного сервиса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Современное сельское хозяйство, интеллектуальное земледелие, информационные технологии, облачные вычисления, блокчейн, искусственный интеллект, криптовалюты, ЦФА

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Михайлов А.Ю. Инновационные вычисления и блокчейн-технологии в сельском хозяйстве для ускорения экономической интеграции между Российской Федерацией, Китаем и Белоруссией//E-Management. 2024. Т. 7, № 4. С. 15–26.

© Михайлов А.Ю., 2024.
Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Innovative computing and blockchain technologies in Agriculture for accelerating economic integration among Russia, China, and the Republic of Belarus

Received 10.09.2024 Revised 12.11.2024 Accepted 19.11.2024

Alexey Yu. Mikhailov

Cand. Sci. (Econ.), Leading Researcher
Institute of China and Contemporary Asia of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
ORCID: 0000-0003-2478-0307
E-mail: alexeyfa@ya.ru

ABSTRACT

Innovative computing and blockchain technologies in Russia, China, and the Republic of Belarus have been presented. Cloud computing refers to distributed computing technologies that use algorithms for network access to shared computing resources. Using a cloud service for intelligent farming is a promising technology since it can provide huge computing power and storage capacity, high scalability, and flexibility. Cloud infrastructure includes computer networks, servers, data warehouses, and operating systems. Cloud service providers typically provide their services using one of the following information technologies: SaaS (Software as a Service), PaaS (Platform as a Service), IaaS (Infrastructure as a Service). With SaaS, all the necessary software is located on cloud servers and rented out. There are also services such as data, file and record repositories, web-based email services, and various project management-related tools that can be customized depending on an agricultural company. With PaaS, customers are provided with an environment for developing their own applications, including operating systems, databases and data processing tools, as well as capabilities and resources for data storage, and operating system installation. The main goal of IaaS is to eliminate dependence on platforms and resource–intensive installation by providing them as part of a cloud service.

KEYWORDS

Modern agriculture, intelligent agriculture, information technology, cloud computing, blockchain, AI, cryptocurrency, DFA

FOR CITATION:

Mikhailov A.Yu. (2024) Innovative computing and blockchain technologies in agriculture for accelerating economic integration among Russia, China, and the Republic of Belarus. *E-Management*, vol. 7, no. 4, pp. 15–26. DOI: 10.26425/2658-3445-2024-7-4-15-26

© Mikhailov A.Yu., 2024.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В современном сельском хозяйстве большая часть данных с датчиков хранится в облаке, что освобождает сельскохозяйственную компанию от необходимости иметь большие серверы для хранения данных за период наблюдений. Облачные вычисления в приложениях для интеллектуального ведения сельского хозяйства могут использоваться для сбора и хранения информации с удаленных датчиков, обработки данных (таких как анализ данных, визуализация и принятие решений) и отображения результатов пользователям. Облачные технологии позволяют объединить сельскохозяйственные предприятия в единую интегрированную информационно-коммуникационную систему с использованием элементов искусственного интеллекта для разработки алгоритмов управления на основе анализа больших данных. Алгоритмы управления, основанные на самообучающихся нейронных сетях, будут постоянно корректироваться и уточняться по мере поступления новых данных.

Наличие общей информационной базы позволит разрабатывать рекомендации для различных сельскохозяйственных компаний, учитывая наблюдаемые тенденции (прогнозируемые погодные условия, распространение болезней, вредителей и т.д.) и накопленный опыт других компаний. Фермеры смогут получить всю доступную на рынке информацию о методах ведения сельского хозяйства, алгоритмах и методиках, а также советы от различных аналитических организаций. Облачные вычисления призваны стать центральным объединением инфраструктур систем управления знаниями и поддержки принятия решений и могут быть незаменимы в системах с требованиями к обработке больших объемов данных, особенно в режиме реального времени. Обеспечение необходимого уровня информационной подсистемы и ресурсной безопасности, целостности и конфиденциальности данных достигается за счет использования закрытых облачных сервисов.

В обзорах интеллектуальных приложений в сельском хозяйстве отмечается, что большинство рассмотренных систем зависят по крайней мере от одного облачного сервиса. Как правило, первоначальная обработка информации выполняется на локальном сервере, а основные облачные сервисы используются для загрузки, хранения, обработки, анализа, принятия решений и генерации оповещений второго уровня. Наиболее популярными методами хранения данных являются использование серверной базы, платформы удаленного управления данными и облачного сервера. Рассматривается проект для управления ирригационной водой на ферме, приводится схема архитектуры его системы с серверной подсистемой, развернутой в облаке и отвечающей за хранение исходных данных, выполняются процедуры их обработки и администрируя функцию уведомления по электронной почте. Cloud-IoT нуждается в дальнейших исследованиях из-за наличия ограничений, таких как масштабируемость, надежность, конфиденциальность, безопасность, неоднородность используемого оборудования, оптимизация энергопотребления и стоимость.

ТУМАННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ / FOG CALCULATIONS

Системы управления, основанные на облачных вычислениях, чувствительны к стабильности интернет-соединения. Интеллектуальные сельскохозяйственные приложения могут страдать от перебоев в работе из-за отключений от облачных сервисов, которые обычно происходят в сельской местности. Огромный объем данных, генерируемых датчиками и другими интеллектуальными устройствами Интернета вещей (IoT), может повлечь за собой высокие затраты на передачу в облако как с точки зрения денег, так и с точки зрения задержки. В случае, когда фермеры работают с высокоавтоматизированным оборудованием или беспилотными летательными аппаратами, низкая задержка и надежность имеют первостепенное значение для их безопасности и обеспечения немедленного реагирования на различные события [Candila et al, 2021; Saqib et al, 2021; Yumashev, Mikhaylov, 2020].

Чтобы минимизировать задержку и затраты и улучшить качество обслуживания, продвинуты пограничные и туманные вычисления, MEC (мобильные пограничные вычисления), MCC (мобильные облачные вычисления) и облачные сервисы, которые являются расширением парадигмы облачных вычислений. Такие вычислительные системы включают несколько механизмов, аналогичных облачным вычислениям, но развернутых на пограничных узлах, расположенных между пограничными устройствами и облачной инфраструктурой. Они обрабатывают данные на пограничном уровне сети на маршрутизаторе и шлюзе для повышения производительности системы (например, времени отклика, пропускной способности, задержки обработки данных, энергоэффективности), а также для обеспечения большей безопасности и конфиденциальности [Wang et al, 2021; Han et al, 2019; Thuy and Khai, 2020; Mikhaylov, 2023].

Локальные узлы находятся в непосредственной близости от периферийных устройств и могут предоставлять свои вычислительные ресурсы и ресурсы хранения для повышения надежности поддерживаемой системы, безопасности с отказоустойчивостью, масштабируемости, мультиарендности, расширенной аналитики и автоматизации, экономической эффективности. Локальные узлы позволяют уменьшить объем данных, передаваемых в облако. В ссылке предлагается подход к уменьшению объема данных, которые хранит и передает в облако, путем их фильтрации. В проведенном эксперименте использовались два реальных набора данных в контексте интеллектуального сельского хозяйства, где первый содержит значения температуры и влажности, а второй – влажность почвы и температурные условия. В результате эксперимента установлено, что при максимальном сокращении данных туману необходимо хранить и передавать в облако всего 3–6 % исходных сведений, генерируемых датчиками [An et al, 2024; Mikhaylov et al, 2023; Moiseev et al, 2023].

Изучаются преимущества транспортной сети, в которой транспортные средства играют роль противотуманных серверов, что сокращает задержку и улучшает качество обслуживания при передаче данных. Шлюзы Интернета вещей в качестве серверов fog собирают данные с датчиков и включают сервисы агрегирования данных, фильтрации, шифрования и кодирования видеопотока. Они могут прогнозировать и классифицировать события на основе алгоритмов машинного обучения, развернутых в облаках. Может быть достигнут оптимальный баланс между пограничным хранилищем с обработкой и той частью рабочей нагрузки, которая должна выполняться в облаке. Для разработчиков важно с самого начала правильно определить, где будет происходить обработка данных, поскольку это влияет на выбор узлов, объем передаваемой информации и используемые протоколы связи. Предлагается архитектура управления как услуги, основанная на вычислениях, для динамической обработки событий Интернета вещей. Она состоит из механизма правил и сложного процессора событий. Механизм правил позволяет определять динамические правила управления в облаке. Контролер представляет комплексный процессор событий на базе fog, который обеспечивает масштабируемую и надежную связь, а также глобальное и адаптируемое управление.

Предлагаемое решение может использоваться в средах, где нет доступа к сети «Интернет» (далее – Интернет). Возможности предлагаемой архитектуры продемонстрированы на примерах. В частности, для интеллектуального сельского хозяйства рассмотрена система управления отоплением и вентиляцией в теплице (в Бразилии). Показано, что стоимость инфраструктуры при применении предлагаемой архитектуры составляет примерно половину цены облачной системы. Предлагается комбинация облачных и туманных вычислений, при которой базовые вычисления и принятие решений на основе данных датчиков выполняются на устройствах на границе компьютерной сети, а результаты анализа передаются в облако. Таким образом, достигаются увеличение скорости вычислений и снижение стоимости передачи данных [Zhang, 2020; Mikhaylov, 2022; An et al, 2020; Mikhaylov, 2021].

Исследователи разработали и внедрили гибкое промежуточное программное обеспечение безопасности Интернета вещей, которое может использоваться в сквозных облачных и противотуманных коммуникациях, – от интеллектуальных устройств на границе сети до приложений, размещенных в облаке. Решена задача промежуточного программного обеспечения для протоколов связи между двумя различными сегментами сети (от облака к шлюзу и от шлюза к границе), что обеспечивает высокий уровень безопасности. Разработанное программное обеспечение способно справляться с перебоями в подключении к сети, а также с ограничениями устройства с точки зрения вычислительной мощности, памяти, энергопотребления и пропускной способности сети. Если недавно отключенное устройство захотело возобновить предыдущее прерванное соединение, можно повторно использовать зашифрованные сеансы из недавнего прошлого. Описан алгоритм определения оптимальной схемы для выбора наилучшего варианта сквозной схемы безопасности, подходящего для обеспечения безопасности приложения на основе Интернета вещей, в зависимости от требований пользователя и ограничений ресурсов на границе сети. В эксперименте использовались прототипы клиента и сервера. Сервер размещен в главном облаке и шлюзе и прослушивает клиентские запросы от шлюза и узлов Интернета вещей. Клиентская часть системы предоставляет интерактивный интерфейс, в котором можно выбрать один из пяти различных уровней безопасности. Результаты эксперимента показали, что реализованное промежуточное программное обеспечение обеспечивает быструю и ресурсозависимую безопасность за счет использования статических предварительно совместно используемых ключей для различных требований приложений на основе Интернета вещей, достигая компромисса между более высокой безопасностью и более быстрой передачей данных [Mikhaylov, 2023; Metaxas et al, 2023].

Обсуждены следующие проблемы:

– применение вычислений fog в управлении цепочками поставок скоропортящихся продуктов (например, плодов ежевики);

– требования к данным, вычислениям и хранению для узлов fog на каждом этапе цепочки поставок.

Рассмотрены преимущества внедрения вычислений fog для мониторинга и контроля при транспортировке ежевики от производителя, расположенного в Мексике, к продавцу в Соединенных Штатах Америки (далее – США). Предложена трехуровневая модель.

1. Уровень 1 – это датчики (температуры, влажности, углекислого газа и яркости) в грузовике и RFID-метки на каждой коробке с ягодами.

2. Уровень 2 – это туманные вычисления, где интеллектуальные считыватели с микроконтроллерами действуют как мобильные туманные узлы. Грузовик также является противотуманным узлом, включающим RFID-метки, интеллектуальные считыватели, бортовой блок поддержки принятия решений (сокращенно – ODSU) и блок уведомления о событиях. ODSU получает отфильтрованные показания датчика от интеллектуального считывателя и сопоставляет их с заданным по умолчанию профилем температуры и влажности продукта. Если значения параметров превышают максимально возможные значения или опускаются ниже минимальных пороговых уровней температуры и влажности, ODSU подает сигнал тревоги или выполняет автоматическую регулировку. Блок оповещения о событиях запускается ODSU после принятия корректирующих мер в случае нарушения порогового значения и отправляет предупреждения в виде сообщений и электронных писем водителю и менеджеру.

3. Уровень 3 – это облачные вычисления, при которых передача данных в облако осуществляется с помощью GPRS или сети сотовой связи, когда грузовик находится в зоне доступа. Если данные, загруженные мобильным противотуманным устройством, включают историю показаний датчиков, превышающих пороговое значение, это значит, что срок годности поддонов и количество поддонов уже истекли. История операций цепочки поставок сохраняется и анализируется. Выполняются расчеты для определения количества товаров, которые должны быть доставлены в нижестоящие торговые центры, и определения маршрутов на каждом уровне цепочки поставок.

ГРАНИЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ / BOUND CALCULATIONS

Улучшение сельскохозяйственной системы в целом основано на снижении энергопотребления, латентности и увеличении пропускной способности. С увеличением технических возможностей пограничных узлов (CPU-memory) обработка данных осуществляется непосредственно на пограничных узлах сети, и результаты отправляются в облако. Исследования показывают, что архитектуры периферийных вычислений обеспечивают достаточное качество обслуживания и являются решением для минимизации задержек, повышения конфиденциальности и снижения затрат на пропускную способность в системах, основанных на Интернет вещей.

Передовые вычисления в сельском хозяйстве распространены чаще, чем может показаться, поскольку иногда они являются подкомпонентом в других областях исследований, например, в Интернет вещей. Однако разрабатываемые системы часто находятся на стадии прототипа, и критические вопросы взаимодействия с масштабируемостью не решены в достаточной степени. Инфраструктура пограничных вычислений специализирована для надежных платформ с пограничными сервисами, а не для разработки отдельных реализаций, необходимых для достижения значимого эффекта от фермы. Дан обзор передовой вычислительной технологии и ее эталонных архитектур с модульным подходом. Она тестируется с точки зрения снижения стоимости полосы пропускания между пограничными и облачными вычислениями за счет создания платформы Интернета вещей в интеллектуальном агропромышленном комплексе. Предлагаемая эталонная архитектура позволяет лицам, принимающим решения, управлять сложными системами, такими как «умные» города, «умная» энергетика, здравоохранение или точное земледелие [Goodell, Goutte, 2021; Grobys, Huynh, 2021; Hamill et al, 2021; Hasan et al, 2021].

Применение передовых вычислений в сельскохозяйственных приложениях (таких как животноводство, растениеводство, рыбоводство, лесное хозяйство и ограждение ферм, мониторинг окружающей среды и цепочки поставок продуктов питания) рассматривается в Справочнике. В документе перечислены разработки ученых из США, стран Европейского союза, Индии, Китая, Канады, Бразилии, Южной Кореи и Малайзии.

Представляет интерес сочетание облачных и периферийных вычислений. В этом случае непосредственное управление технологическим процессом на основе данных датчиков осуществляется с сервера, расположенного на территории фермы. Время от времени пограничная база данных синхронизируется с облачной базой данных. Алгоритмы управления обновляются таким образом, чтобы повысить качество и эффективность принятия решений. Программная платформа с открытым исходным кодом состоит из локального, пограничного и облачного уровней. На локальном уровне киберфизические системы взаимодействуют с устройствами для выращивания сельскохозяйственных культур для сбора данных и мониторинга в режиме реального времени. Пограничный уровень платформы отвечает за мониторинг и управление основными задачами точного земледелия на границе сети для повышения надежности системы в случае сбоев доступа к сети. Облачная платформа собирает текущие и прошлые записи и размещает модули анализа данных с использованием платформы FIWARE. Архитектура системы в виде модулей сокращает время проектирования для настройки и обслуживания [Náñez Alonso et al, 2021; Fadeyi et al, 2019; Guidi et al, 2020].

Исследователи представляют предложение по многоуровневой глобальной архитектуре пограничных вычислений с модульным подходом для снижения затрат на пропускную способность между пограничными сетями и облаками. Эталонная архитектура тестируется путем создания платформы Интернета вещей в интеллектуальном агропромышленном комплексе в сообществе «Кастилия и Леон» с целью оптимизации управления сельскохозяйственными предприятиями. Результаты тестирования продемонстрировали преимущества разработанной архитектуры в следующих аспектах:

– анализ данных в режиме реального времени на уровне локальных устройств и пограничных узлов, а не в облаке;

– снижение операционных затрат и управления за счет сокращения трафика и передачи данных в облако;

– более высокая производительность приложений за счет более низких уровней задержки на границе сети, чем в облаке.

Более высокий уровень безопасности и конфиденциальности достигнут при внедрении технологий блокчейн в уровни архитектуры Интернета вещей и бизнес-решений.

Исследователи предоставляют анализ комбинаций облачных вычислений с туманными и граничными, а также сравнение архитектур по таким критериям, как близость к пользователю, задержка и дрожание, стабильность сети, высокая пропускная способность, надежность, масштабируемость, экономическая эффективность и доступность. Хотя развитие fog и edge computing и их аналогов для беспроводных сетей MEC позволяет приблизить возможности обработки к пользователям, улучшая время отклика, процедуры, которые могут выполняться на edge-устройствах, ограничены вычислительными и энергетическими возможностями этих устройств. Традиционные централизованные облачные вычисления по-прежнему будут важной частью вычислительных систем и не могут быть полностью заменены обычными и периферийными вычислениями, поскольку некоторые ресурсоемкие задачи могут быть решены только на уровне облака, обладающего вычислительной мощностью и емкостью хранилища. В Сельском хозяйстве 4.0 это особенно актуально для обработки спутниковых изображений и обучения алгоритмов искусственного интеллекта.

Информационные системы управления фермами рассматривались во многих статьях. Они эволюционировали от простого программного обеспечения для ведения учета до сложных облачных систем, которые могут манипулировать большими объемами данных и предоставлять возможности поддержки принятия решений. Разработка платформы для сельского хозяйства направлена на переход от обслуживания только определенного домашнего скота или сельскохозяйственных культур к универсальной платформе. На такую систему не влияли бы никакие региональные и географические ограничения, и она могла бы стать посредником в широком спектре приложений – от управления и мониторинга растениеводства и животноводства до продажи продукции потребителям и местным магазинам.

Системы поддержки принятия решений в сельском хозяйстве включают методы сбора, обработки данных и оптимизации для принятия решений. Процесс построения такой системы рассмотрен на примере разработки системы полива растений. Подчеркнута необходимость в ИСФМ более высокого уровня, которая использует не только данные от одного производителя, но и данные от других местных, региональных или национальных производителей для анализа данных и принятия решений. Перечислены трудности при внедрении такой информационной системы для поставщиков сельскохозяйственных услуг. Разработана структура

информационной системы для интеллектуального сельского хозяйства с использованием облачных технологий. Объектно-коммуникационная модель для управления данными представлена в виде таблиц сущностей. Она обеспечивает совместное использование данных в производственных системах, быстрый (контролируемый) доступ сторонних производителей и быструю интеграцию инструментов аналитики и поддержки принятия решений. Процессы принятия решений внедряются во всю схему, включая решения о продукте, поставках на рынок, закупке ресурсов и т.д.

Исследователи представляют автономную информационную систему на основе облака для сельского хозяйства, которая предоставляет информацию как услугу для управления различными типами данных. Такая система автономна, предназначена для различных отраслей сельского хозяйства (растения, животные и оборудование, погодные параметры, почва, наличие вредителей, продуктивность, потребность в удобрениях и орошении), основана на облачных вычислениях и нечеткой логике. Она поддерживает QoS (контроль качества обслуживания) и имеет графический пользовательский интерфейс. Также разработаны веб-приложение и мобильное приложение. Производительность предлагаемой системы в облачной среде рассчитана на основе CloudSim, который показал улучшение стоимости, пропускной способности сети, времени выполнения и задержки. Система собирает информацию от различных пользователей с помощью предварительно настроенных устройств (мобильные телефоны, ноутбуки и планшеты). Сельскохозяйственная информация успешно протестирована в индийской деревне.

Разработана информационная система для управления фермой с использованием облачных вычислений, больших данных и Интернета вещей. Разработка проведена на платформе FIWARE с помощью FMIS, к которой дополнительно создан инструмент финансового анализа для фермы. Приложение успешно протестировано на посевах озимой пшеницы в Германии в течение сезона. Зарегистрированы все задачи, которые фермер выполнял в течение рассматриваемого периода, включая использование оборудования и ресурсов, таких как семена, пестициды, удобрения и т.д. Кроме того, были доступны все финансовые операции, связанные с уборкой урожая (например, закупка топлива и заработная плата сотрудников). Для подтверждения финансового анализа, который проводится на основе стандартных значений, фермеров попросили предоставить их собственные оценки типичных затрат на каждую выполняемую задачу с точки зрения оборудования и рабочей силы. Приложение фокусируется на финансовом анализе фермы на основе всех транзакций фермы, а также на оценке прибыльности. Рассчитаны переменные затраты, относящиеся к полю, урожаю, и постоянные затраты, которые регистрируются для фермы и затем распределяются по полям или культурам.

Платформа была разработана для производителей кофе, чтобы позволять отслеживать экологические переменные кофейной зоны по участкам, фермам и регионам; принимать решения по управлению посевами кофейного дерева на основе реальных данных; планировать мероприятия перед сбором урожая в результате проведения оценки производства кофе в год, избегая денежных потерь при производстве. IoT-Agro оценивает производство кофе на основе данных о погоде и данных управления урожаем (внесение удобрений, контроль и уборка) с использованием обучающих моделей. Эксперимент проводился на кофейной ферме Los Naranjos, расположенной в округе Ла Вента (муниципалитет Кахибио в Колумбии). Приложение протестировано заинтересованными сторонами, от фермеров и операторов до исследователей. Хранение климатических данных на уровне аналитики данных помогает фермерам получать доступ к полезной информации; выполнять технические расчеты потребностей в орошении и ранние предупреждения для прогнозирования болезней растений; оценивать урожайность своих культур с использованием моделей искусственного интеллекта; планировать время сбора урожая с учетом изменения климата. Фермеры могут корректировать планы управления растениеводством: внесение удобрений, подкормка, посадка, орошение. Хранение данных на верхнем уровне позволяет им осуществлять региональное планирование для обеспечения экономической стабильности, продвижения рынков, корректировки предложения и влияния на цены в интересах производителей.

Проанализированы основные системные архитектуры и области применения, внедрения и прибыльности, а также решения для точного земледелия как наиболее информативной области. Обзор коммерческих решений включал изучение 141 международного программного пакета, которые разделены на 11 функций с помощью кластерного анализа. Академические FMISS представляют более сложные системы, которые учитывают стандартные приложения, автоматический сбор данных и взаимодействие между различными программными пакетами. Коммерческие приложения были сосредоточены на повседневных задачах фермерского

хозяйства, связанных с составлением бюджета и финансами (таких как ведение учета, управление техникой и документирование, с учетом новых тенденций, требующих функций, связанных с отслеживанием, обеспечением качества и продажами).

БЛОКЧЕЙН / BLOCKCHAIN

Централизованные системы интеллектуального сельского хозяйства сталкиваются с проблемами системных сбоев с полной потерей доступа к данным датчиков, проблемами доступа к большим данным и проблемами безопасности. Технология блокчейн предоставляет возможность делать публичные транзакции доступными для различных групп пользователей без необходимости в официальной третьей стороне для мониторинга транзакций. С помощью блокчейна можно создавать интеллектуальные системы, способные проверять, защищать, контролировать и анализировать сельскохозяйственные данные. Полученные данные указывают на то, что технология блокчейн вместе с передовыми информационно-коммуникационными технологиями может улучшить управление цепочкой создания стоимости сельскохозяйственных продуктов питания в следующих аспектах: отслеживаемость, информационная безопасность, производство и устойчивое управление водными ресурсами. Блокчейн – многообещающая технология, обеспечивающая безопасность данных и конфиденциальность [Gao et al, 2022; Gao et al, 2023].

Технология блокчейн – это децентрализованный способ хранения данных в виде цепочки взаимосвязанных блоков. Она позволяет записывать следующую информацию: транзакции между поставщиком и фермером, а также информацию, касающуюся сельскохозяйственных культур, материалов и химических продуктов; сведения о ферме, методах выращивания и управления, кормлении животных и дополнительную информацию, такую как погодные условия, благополучие животных, болезни и лечение; фабрика и оборудование, методы обработки, номера партий и финансовые транзакции с производителями и дистрибьюторами; складирование, условия хранения (например, температура и влажность), методы транспортировки, транзитное время и все финансовые транзакции между дистрибьюторами и розничными торговцами; информация о продуктах питания, например, доступное количество, качество, срок годности, время, проведенное на полке или в наличии. Инструменты блокчейна могут повысить прозрачность, отслеживаемость и устойчивость цепочек поставок продуктов питания от фермы к развилке. Это обеспечивает безопасный и достоверный доступ к высококачественным данным в облачных и туманных вычислениях [Chen et al, 2022; Chirtoaca et al, 2020].

Использование Интернета вещей в сельском хозяйстве создает широкий спектр проблем, таких как безопасность (например, защита от кибератак), риски для конфиденциальности данных (атаки на отправление и изъятие данных). Интеграция с блокчейном привносит в традиционную теплицу следующие улучшения: доступность, масштабируемость, увеличенная пропускная способность, конфиденциальность и автономное хранение данных.

Разработана концептуальная архитектура оптимального микроклимата в теплице. Предлагаемая система состоит из трех уровней: блокчейн-слоя, IoT-слоя и тепличного слоя. Уровень Интернета вещей (IoT) предоставляет информацию от различных датчиков (температуры, влажности и содержания углекислого газа (CO_2) в теплице. Уровень блокчейна основан на прогнозировании, оптимизации и контроле на основе смарт-контрактов. Оптимальный смарт-контракт обрабатывает полученные данные в три этапа.

На первом этапе фильтр Калмана используется для оценки следующего значения на основе исторических данных о теплицах. Модуль прогнозирования, основанный на нем, помогает точно настроить окружающую среду до того, как она станет вредной для растений.

На втором этапе прогнозируемые данные передаются в модуль оптимизации, где вычисляются оптимальные параметры на основе определенных условий и системных ограничений, таких как мощность.

На третьем этапе используются оптимальные настройки для повышения производительности для регулировки и управления исполнительными механизмами в теплице с использованием каскадного нечеткого контролера в качестве алгоритма управления.

Все это обеспечивает лучший рост растений на основе оптимальной организации теплицы и использования ресурсов. Исполнительными механизмами являются генератор, естественная вентиляция, принудительная вентиляция, система запотевания, нагреватель, охладитель, вентилятор циркуляции воздуха и осушитель. Фермер может взаимодействовать с тепличной системой через веб-приложение, разработанное на основе предлагаемой архитектуры. Для оценки производительности тепличной системы разработан и внедрен эмулятор теплицы.

Собираются данные датчика теплицы, а затем интерфейс теплицы обрабатывает их для управления приводом и сохраняет данные в блокчейн-сети. Полученные результаты показывают, что предложенный подход к оптимизации приводит к увеличению выхода и снижению энергопотребления [Häusler, Xia, 2021; Hoang, Baur, 2021; Horky et al, 2022].

Архитектура Интернета сочетает Интернет вещей, туманные вычисления, искусственный интеллект и блокчейн в непротиворечивой модели. Блокчейн используется не только для хранения и проверки данных с различных IoT-устройств, но и для контроля и проверки туманных вычислений и облачных сетей. Обработка данных осуществляется на устройстве Интернета вещей, и их не нужно передавать обратно в компьютерное облако. Технология блокчейн может сделать связь Интернета вещей более безопасной, прозрачной и защищенной от несанкционированного доступа в системах точного земледелия. Преимущества блокчейна перед облаком в качестве хранилища данных заключаются в децентрализации, защите от изменений данных, устойчивости к несанкционированному распространению информации, прозрачных транзакциях, менее дорогостоящей инфраструктуре и возможности пограничных/туманных вычислений на конечных точках Интернета вещей. Обсуждаются основные функции и сильные стороны общих блокчейн-платформ, используемых для управления различными подсекторами точного земледелия (такими как выращивание сельскохозяйственных культур, выпас скота и цепочки поставок продовольствия). Проблемы безопасности и конфиденциальности представлены открытыми проблемами блокчейна, которые препятствуют развитию блокчейн-систем в точном земледелии. Пять платформ для интеллектуального сельского хозяйства (Provenance, AgriDigital, IBM Blockchain, Food-coin и AppliFarm), которые рассматриваются в Справочнике, происходят из Китая, Швеции и Африки [Bouri et al, 2021; Benhamed et al, 2023].

Технология блокчейн полезна при разработке интеллектуальных приложений в цепочках поставок продуктов питания. Ее применение для сельского хозяйства рассматривается на основе сбора, проверки, хранения данных и передачи/обмена ими через внешний интерфейс программного приложения. Данные, которые могут быть включены в блокчейн, – это данные об окружающей среде (с использованием данных датчиков), производстве (данные из цепочки создания стоимости), административные (финансовые, правительственные), данные о внешней цепочке поставок (торговля, доставка). Предложена IoT-интегрированная блокчейн-архитектура, которая состоит из уровня презентации, бизнес-уровня, функционального уровня, уровня интеграции и уровня данных блокчейна.

Многие исследования сосредоточены на выявлении и анализе рисков, связанных с внедрением Интернета вещей по всей цепочке поставок. Применение устройств Интернета вещей для сбора данных на нескольких этапах цепочки поставок сельскохозяйственной продукции может не только обеспечить по-настоящему прозрачную деятельность, но и сократить потери продовольствия и воды, выбросы углерода и использование пестицидов, улучшить управление почвами, качество и безопасность продуктов питания, управление запасами и доход.

ДИСКУССИИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ / DISCUSSIONS AND PROMISING RESEARCH DIRECTIONS

Внедрение цифровых технологий в сельское хозяйстве подразумевает комплексное использование современных разработок, включая облачную обработку данных, технологию блокчейн, дистанционное обследование, Интернет вещей, географические информационные системы (GPS), разработку инструментов для сбора, анализа и передачи данных сверхвысокой детализации в сочетании с другими сложными технологиями, такими как искусственный интеллект, робототехника и большие данные. Цифровая трансформация экономики требует замены или модернизации производственного оборудования на цифровое, а этот процесс достаточно сложный и дорогостоящий. В стране слабо развито производство передающих и приемных устройств, датчиков, исполнительных механизмов и другого оборудования, необходимого для применения технологий автоматического управления сельскохозяйственными процессами.

Определены четыре направления цифровизации в сельскохозяйственных технологиях: мониторинг условий и параметров процессов, передача и хранение информации, искусственный интеллект, блокчейн и облачные технологии, а также реализация управляющих решений роботизированными средствами.

Облачные технологии могут стать ключевым фактором внедрения умного сельского хозяйства [Siddique et al, 2023; Jia and Li, 2023].

В качестве тем для дальнейших исследований предлагается рассмотреть облачное интеллектуальное фермерство, включение облачной платформы в систему интеллектуального фермерства, внедрение технологий foggy на фермах и использование пограничных узлов для компьютерного обучения. Развертывание передовых мощностей, подключенных к оборудованию на фермах, позволяет собирать сельскохозяйственные данные в режиме реального времени, предоставлять фермерам передовые услуги, такие как прогнозирование урожая и управление хозяйствами, а также оптимизировать цепочки поставок продовольствия, для чего требуется предоставление доступа к распределенному облачному хранилищу инфраструктуры [Srbová et al, 2023; Podhorsky, 2023; Jabłczyńska et al, 2023; Nerem, Gaur, 2023; Sarkodie et al, 2023].

Важным направлением в использовании облачных вычислений являются интеллектуальные системы поддержки принятия решений. При этом разрабатываются решения, оптимизирующие выполнение технических процессов с учетом производственно-экономических критериев. Они создаются на облачной платформе с искусственным интеллектом, а затем передаются роботизированным механизмам для исполнения. Облачные базы данных могут выступать в качестве хранилища информации, позволяющего выполнять анализ и прогнозирование на основе имеющихся сведений. Фермеры могли бы отправлять данные в облако и получать на их основе управленческие решения с использованием методов искусственного интеллекта. Применение облачных технологий основано на создании автоматизированной информационной системы для отслеживания цепочек поставок, учета сельскохозяйственной продукции, сбора актуальной статистики и т.д. Информационные системы разрабатываются в различных регионах Российской Федерации (далее – РФ, Россия) для учета почвенно-климатических и агро-технологических особенностей территории [Corbet et al, 2020].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Сельскохозяйственное производство осуществляется под влиянием множества неопределенных факторов, которые невозможно предсказать и на которые человек не может повлиять. Это приводит к изменениям в исходных данных, например, в продолжительности некоторых операций и, следовательно, порядке выполнения работ. Было бы уместно в данном случае использовать подход стабильности, который позволяет определить диапазон изменений исходных данных, не приводящий к смене оптимального решения. Для сельского хозяйства это будет означать, например, определение оптимального перечня и порядка сельскохозяйственных операций, которые останутся неизменными, несмотря на неопределенность их продолжительности. В то же время график выполнения работ будет варьироваться в зависимости от погоды, данных датчиков и других факторов. Сочетание этого подхода с Интернетом вещей и облачными вычислениями позволит улучшить качество и количество сельскохозяйственной продукции.

Россия продолжит занимать лидирующие позиции на рынке зерна, несмотря на проблемы с судоходством в Черном море: благодаря исключительно высоким урожаям пшеницы второй год подряд страна продолжает доминировать на рынке зерна в 2023–2024 гг. «Газета» напомнила слова главного аналитика сельскохозяйственных рынков в компании «Агрител». По его мнению, доминирование России необходимо в условиях глобальной нестабильности предложения и спроса. Согласно отчету Министерства сельского хозяйства США, мировые поставки пшеницы сократятся на три млн т, при этом количество запасов снизится незначительно. Это укрепит позиции России как ведущего мирового экспортера – на ее экспорт приходится 23 % мировой торговли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

An J., Mikhaylov A., Chang T. Relationship between the popularity of a platform and the price of NFT assets. Finance Research Letters. 2024;3(61):105057. https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105057

An J., Mikhaylov A., Jung S.U. The Strategy of South Korea in the Global Oil Market. Energies. 2020;10(13):2491. https://doi.org/10.3390/en13102491

Benhamed A., Messai A.S., El Montasser G. On the Determinants of Bitcoin Returns and Volatility: What We Get from Gets? Sustainability. 2023;3(15):1761. https://doi.org/10.3390/su15031761

Bouri E., Cepni O., Gabauer D. et al. Return connectedness across asset classes around the COVID-19 outbreak. International Review of Financial Analysis. 2021;73:101646. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101646

Bouri E., Saeed T., Vo X.V. et al. Quantile connectedness in the cryptocurrency market. Journal of International Financial Markets, Institutions and Money. 2021;71:101302. https://doi.org/10.1016/j.intfin.2021.101302

Candila V., Maximov D., Mikhaylov A., et al. On the Relationship between Oil and Exchange Rates of Oil-Exporting and Oil-Importing Countries: From the Great Recession Period to the COVID-19 Era. Energies. 2021;14(23):8046. https://doi.org/10.3390/en14238046

Chen J., Tang G., Yao J. et al. Investor Attention and Stock Returns. Journal of Financial and Quantitative Analysis. 2021;2(57):455–484. https://doi.org/10.1017/s0022109021000090

Chirtoaca D., Ellul J., Azzopardi G. A Framework for Creating Deployable Smart Contracts for Non-fungible Tokens on the Ethereum Blockchain. In: 2020 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures (DAPPS). 2020. https://doi.org/10.1109/dapps49028.2020.00012

Corbet S., Larkin C., Lucey B. The contagion effects of the COVID-19 pandemic: Evidence from gold and cryptocurrencies. Finance Research Letters. 2020;35:101554. https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101554

Fadeyi O., Krejcar O., Maresova P. et al. Opinions on Sustainability of Smart Cities in the Context of Energy Challenges Posed by Cryptocurrency Mining. Sustainability. 2019;1(12):169. https://doi.org/10.3390/su12010169

Gao X., Gu Z., Niu S., Ryu S. Effects of International Tourist Flow on Startup Financing: Investment Scope and Market Potential Perspectives. SAGE Open. 2022;4(12). https://doi.org/10.1177/21582440221126455

Gao X., Li D., Huang W. Intergenerational education mobility: A machine learning perspective. World Journal of Vocational Education and Training. 2023;1(5):1–10. https://doi.org/10.18488/119.v5i1.3268

Goodell J.W., Goutte S. Diversifying equity with cryptocurrencies during COVID-19. International Review of Financial Analysis. 2021;76:101781. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101781

Grobys K., Huynh T.L.D. When Tether says "JUMP!" Bitcoin asks "How low?". Finance Research Letters. 2021;47:102644. https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102644

Guidi B., Michienzi A., Ricci L. Steem Blockchain: Mining the Inner Structure of the Graph. IEEE Access. 2020;8:210251–210266. https://doi.org/10.1109/access.2020.3038550

Hamill P.A., Li Y., Pantelous A.A. et al. Was a deterioration in 'connectedness' a leading indicator of the European sovereign debt crisis? Journal of International Financial Markets, Institutions and Money. 2021;74:101300. https://doi.org/10.1016/j.intfin.2021.101300

Han R., Foutris N., Kotselidis C. Demystifying Crypto-Mining: Analysis and Optimizations of Memory-Hard PoW Algorithms. In: 2019 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS). 2019. https://doi.org/10.1109/ispass.2019.00011

Hasan M., Naeem M.A., Arif M. et al. Higher moment connectedness in cryptocurrency market. Journal of Behavioral and Experimental Finance. 2021;32:100562. https://doi.org/10.1016/j.jbef.2021.100562

Häusler K., Xia H. Indices on Cryptocurrencies: An Evaluation. SSRN Electronic Journal. 2021. https://doi.org/10.2139/ssrn.3895083

Hoang L.T., Baur D.G. How Stable Are Stablecoins? SSRN Electronic Journal. 2021. https://doi.org/10.2139/ssrn.3519225

Horky F., Rachel C., Fidrmuc J. Price determinants of non-fungible tokens in the digital art market. Finance Research Letters. 2022;48:103007. https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103007

Jabłczyńska M., Kosc K., Ryś P. et al. Energy and cost efficiency of Bitcoin mining endeavor. PLOS ONE. 2023;3(18):e0283687. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283687

Jia D., Li Y. Bounded pool mining and the bounded Bitcoin price. Finance Research Letters. 2023;52:103529. https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103529

Metaxas T., Gallego J.S., Juarez L. Sustainable urban development and the role of mega-projects: Experts' view about Madrid Nuevo Norte Project. Journal of Infrastructure, Policy and Development. 2023;2(7):2161. https://doi.org/10.24294/jipd.v7i2.2161

Mikhaylov A. Development of Friedrich von Hayek's theory of private money and economic implications for digital currencies. Terra Economicus. 2021;1(19):53–62. https://doi.org/10.18522/2073-6606-2021-19-1-53-62

Mikhaylov A. Efficiency of renewable energy plants in Russia. Anais Da Academia Brasileira de Ciências. 2022;4(94). https://doi.org/10.1590/0001-3765202220191226

Mikhaylov A. Understanding the risks associated with wallets, depository services, trading, lending, and borrowing in the crypto space. Journal of Infrastructure, Policy and Development. 2023;2(7):2223. https://doi.org/10.24294/jipd.v7i2.2223

Mikhaylov A., Dinçer H., Yüksel S. et al. Bitcoin mempool growth and trading volumes: Integrated approach based on QROF Multi-SWARA and aggregation operators. Journal of Innovation & Knowledge. 2023;3(8):100378. https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100378

Moiseev N., Mikhaylov A., Dinçer H. et al. Market capitalization shock effects on open innovation models in e-commerce: golden cut q-rung orthopair fuzzy multicriteria decision-making analysis. Financial Innovation. 2023;1(9). https://doi.org/10.1186/s40854-023-00461-x

Náñez Alonso S.L., Jorge-Vázquez J., Echarte Fernández M.Á. et al. Cryptocurrency Mining from an Economic and Environmental Perspective. Analysis of the Most and Least Sustainable Countries. Energies. 2021;14(14):4254. https://doi.org/10.3390/en14144254

Nerem R.R., Gaur D.R. Conditions for advantageous quantum Bitcoin mining. Blockchain: Research and Applications. 2023;3(4):100141. https://doi.org/10.1016/j.bcra.2023.100141

Podhorsky A. Taxing bitcoin: Incentivizing the difficulty adjustment mechanism to reduce electricity usage. International Review of Financial Analysis. 2023;86:102493. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.102493

Saqib A., Chan T.H., Mikhaylov A. et al. Are the Responses of Sectoral Energy Imports Asymmetric to Exchange Rate Volatilities in Pakistan? Evidence From Recent Foreign Exchange Regime. Frontiers in Energy Research. 2021;9. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.614463

Sarkodie S.A., Amani M.A., Ahmed M.Y. et al. Assessment of Bitcoin carbon footprint. Sustainable Horizons. 2023;7:100060. https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100060

Siddique I.M., Siddique A.A., Smith E.D. et al. Assessing the Sustainability of Bitcoin Mining: Comparative Review of Renewable Energy Sources. Journal of Alternative and Renewable Energy Sources. 2023;1(10):1–12. https://doi.org/10.46610/joares.2024.v10i01.001

Srbová P., Režňáková M., Tomášková A. Socially responsible activities and the economic performance of family businesses. Journal of Infrastructure, Policy and Development. 2023;1(7):1958. https://doi.org/10.24294/jipd.v7i1.1958

Thuy N.T.T., Khai L.D. A fast approach for bitcoin blockchain cryptocurrency mining system. Integration. 2020;74:107–114.

Wang T., Liew S.C., Zhang S. When blockchain meets AI: Optimal mining strategy achieved by machine learning. International Journal of Intelligent Systems. 2021;5(36):2183–2207. https://doi.org/10.1002/int.22375

Yumashev A., Mikhaylov A. Development of polymer film coatings with high adhesion to steel alloys and high wear resistance. Polymer Composites. 2020;7(41):2875–2880. https://doi.org/10.1002/pc.25583

Zhang J. Interaction design research based on large data rule mining and blockchain communication technology. Soft Computing. 2020;21(24):16593–16604. https://doi.org/10.1007/s00500-020-04962-0